Aus der Augenklinik der Universität Tübingen

Direktor : Professor Dr. Heinrich Harms

Normwerte und Seitendifferenzen des Pulsationsvolumens der A. ophthalmica bei Normotonikern und Hypotonikern

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

Hans-Dieter Seitz

aus Stuttgart

1964

8054

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547602_0053

Aus der Augenklinik der Universität Tübingen
Direktor : Professor Dr. Heinrich Harms

Normwerte und Seitendifferenzen des Pulsationsvolumens der A. ophthalmica bei Normotonikern und Hypotonikern

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Hans-Dieter Seitz
aus Stuttgart

1964

Dekan: Prof. Dr. med. H. HARMS

1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. H. HAGER

2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. H. HARMS

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Fotodruck PRÄZIS · Tübingen

Meinen Eltern gewidmet

Herrn Prof.Dr.Harms bin ich zu
großem Dank verpflichtet, dass ich
in seiner Klinik arbeiten durfte.

Herrn Prof.Dr.Hager danke ich für die
Überlassung des Themas. Für seine liebens-
würdige Unterstützung bei der Ausführung
der Arbeit bin ich ihm zu besonderem
Dank verpflichtet.

Inhaltsverzeichnis

		Seite
I.	Einleitung und Aufgabenstellung	1
II.	Untersuchungsmethode	2
III.	Bestimmung des Pulsationsvolumens . . .	3
IV.	Untersuchter Personenkreis	4
V.	Untersuchungsgang	5
VI.	Darstellung der Ergebnisse	6
VII.	Auswertung der Ergebnisse	9
VIII.	Kritische Beurteilung der Ergebnisse und Zusammenfassung	12
	Tabellen	18
	Abbildungen	19
	Literaturverzeichnis	25
	Lebenslauf	26

I. Einleitung und Aufgabenstellung

Die Ophthalmodynamographie ist eine von HAGER entwickelte Untersuchungsmethode, mit der man auf unblutige, objektive Weise einzelne Kreislaufgrößen im Bereich des cerebralen Gefäßsystems erfassen kann. Ihre klinische Bedeutung als Methode zur Bestimmung des Ophthalmicadruckes und der Pulswellengeschwindigkeit in der Art. carotis interna haben HAGER und KLEIN ausführlich beschrieben. Außerdem stellten LINK, SCHOCK und HORCH Normwerte des Ophthalmicadruckes sowie Relationen zwischen dem cerebralen und brachialen Blutdruck auf.

Als weitere Kreislaufgröße im Rahmen der Ophthalmodynamographie lässt sich das Pulsationsvolumen aus dem Oszillogramm bestimmen. HAGER konnte an klinischen Beispielen zeigen, dass dieses Pulsationsvolumen zusätzliche Rückschlüsse auf die cerebralen Durchblutungs- und Kreislaufverhältnisse gestattet. Die Beurteilung des Pulsationsvolumens stützte sich jedoch bisher auf diese rein klinischen Erfahrungen. In der Hauptsache beschränkten wir uns dabei auf den Seitenvergleich zwischen rechts und links bei ein und demselben Patienten. Schon allein durch diesen Vergleich war es oft möglich, selbst bei normalen cerebralen Blutdruckwerten diagnostische Hinweise auf einseitige cerebrale Durchblutungsstörungen zu gewinnen. Für die Bewertung der absoluten Größe des Pulsationsvolumens wurden bisher 70 bis 220 mm^3 noch als normal angenommen und Werte außerhalb dieser Grenzen als pathologisch angesehen. Es ist verständlich, dass bei dieser relativ großen Schwankungsbreite die absolute Größe des Pulsationsvolumens bisher nur bei sehr starker Abweichung diagnostische Bedeutung haben konnte.

Um jedoch an Hand des Pulsationsvolumens noch weitere und exaktere Aussagen über die Kreislaufverhältnisse im Gehirn machen zu können, ist es notwendig, durch Reihenuntersuchungen sog. Normwerte und die Grenzen für die noch zu-

lässigen Seitendifferenzen zwischen rechtem und linkem Auge aufzustellen. Es wurde mir daher die Aufgabe gestellt, diese systematischen Untersuchungen bei Normotonikern und Hypotonikern durchzuführen und die normalen Relationen zwischen Pulsationsvolumen, Mitteldruck und Blutdruckamplitude aufzustellen.

II. Untersuchungsmethode

Bei der Ophthalmodynamographie wurde das Prinzip der Pulsoszillographie auf das Auge übertragen und somit die Möglichkeit geschaffen, ein Oszillogramm des Bulbus-Orbita-Pulses graphisch aufzuzeichnen. Die Einzelheiten der Methode sind bereits von HAGER beschrieben. Es kann deshalb darauf verwiesen werden. Die Apparatur des Ophthalmodynamographen bedarf jedoch nochmals einer besonderen Beschreibung, da sie seit den letzten Veröffentlichungen (HAGER) weiter vereinfacht wurde.

Im Gegensatz zur früheren Apparatur ist jetzt der Druckmarkengeber FBR und das Anschaltgerät OS 1 A mit dem Eichpulsgeber und der Vorrichtung zur elektrischen Empfindlichkeitsumschaltung für den Eichpuls in ein Gerät zusammengefasst. Der Eichpulsgeber zur Eichung der Pulsamplituden ist ebenfalls geändert worden. Nach wie vor wird als Eichpulsgeber eine auf 500 mm^3 genormte Injektionsspritze verwendet, in die eine Feder eingebaut ist, um damit das Eichpulsvolumen mit konstanter Kraft und Geschwindigkeit in die Augenpulskapsel geben zu können. Der Eichpulsgeber wird aber jetzt durch einen drehbaren Knopf bedient. Durch Rechtsdrehen dieses Knopfes bis zu einer Arretierung wird die Eichspritze aufgezogen; bei weiterer Drehung nach rechts wird die Federspannung gelöst und somit das Eichvolumen in das geschlossene pneumatische System hineingepulst.

Die inzwischen auch wesentlich verbesserte Anlagefläche der Augenpulskapsel ist von HORCH in seiner Dissertation schon beschrieben worden.

III. Bestimmung des Pulsationsvolumens

Durch Registrierung des Eichpulses ist es möglich, die Amplituden des Pulsoscillogrammes mit der Amplitude einer Volumenverschiebung bekannter Größe (0,5 cm^3) zu vergleichen. Dadurch können, unabhängig von der Empfindlichkeit des Registriergerätes und des Dynamographen, die maximalen Pulsamplituden als pulsatorisch bedingte Volumenverschiebung bestimmt werden. Diese pulsatorische und an der Abnahmestelle des Meßbereiches erfassbare Volumenverschiebung bezeichnen wir als Pulsationsvolumen und berechnen es nach der Formel:

$$PV = \frac{Ap \times PV_E}{Ae} \quad (mm^3)$$

Ap bedeutet der aus den 6 höchsten Pulsationen errechnete Mittelwert. In der Abbildung 1 sind diese Pulsationen durch horizontale Striche besonders gekennzeichnet und haben eine durchschnittliche Höhe von 25 mm. Die Eichamplitude (Ae) wird ebenfalls als Mittelwert aus mindestens 3 Eichkurven errechnet und beträgt in unserem Fall im Durchschnitt 12,5 mm. Da die Volumeneichung bei 1/10 Empfindlichkeit durchgeführt wird, entspricht die Eichamplitude nicht 500 mm^3, sondern nur noch einem Eichpulsvolumen (PV_E) von 50 mm^3. Dieser Wert ist in der Formel als Konstante einzusetzen. Somit errechnet sich das Pulsationsvolumen in dem vorliegenden Beispiel:

$$PV = \frac{Ap \times PV_E}{Ae} = \frac{25 \times 50}{12,5} = 100 \ mm^3$$

Da die Volumeneichung bekanntlich im Bereich der höchsten Pulsationen erfolgt und diese dem oszillometrischen Index entsprechen, kann das Pulsationsvolumen auch als der in Volumeneinheiten angegebene oszillometrische Index definiert werden.

IV. Untersuchter Personenkreis

In der vorliegenden Arbeit wird über 200 Personen berichtet, bei denen in der Zeit von Oktober 1963 bis Mai 1964 eine Ophthalmodynamographie durchgeführt wurde. Wie bei früheren Untersuchungen (HAGER,LINK) waren 14 % aller Untersuchungsergebnisse nicht oder nicht sicher verwertbar. Der Grund dafür war neben schlechter oder falscher Anlage der Augenpulskapsel eine nicht formgetreue Registrierung der Eichamplituden. Diese nicht formgetreue Registrierung war häufig dadurch bedingt, dass der Eichpuls durch Restpulsationen überlagert war. Bei besonders empfindlichen Personen wurde die Eichkurve auch dadurch verfälscht, dass der Untersuchte im Augenblick der Eichschreibung gezwinkert hatte. Um auf die gewünschte Personenzahl von jeweils 100 Normotonikern und Hypotonikern zu kommen, mussten daher insgesamt 228 Personen untersucht werden.

Die Unterteilung von Normotonikern und Hypotonikern nahmen wir nach den von WEZLER und BÖGER aufgestellten Richtlinien vor. Bei allen 200 Personen entsprach der Ophthalmicadruck (Systole, Diastole und Mitteldruck) dem Oberarmblutdruck oder lag zumindest innerhalb der in der Arbeit von HORCH aufgestellten Grenzwerte. Es bestand also in keinem Falle eine isolierte cerebrale Hypertonie oder Hypotonie, so daß der cerebrale Blutdruck im Vergleich zum Brachialisdruck als normal anzusehen war. Bei dem untersuchten Personenkreis handelte es sich um stationäre und ambulante Patienten der Universitäts-Augenklinik, die an nicht kreislaufbedingten Augenerkrankungen litten. Außerdem wurden 17 Studenten im Alter von 18 bis 25 Jahren in die Untersuchungen einbezogen.

Das Alter aller untersuchten Personen lag zwischen 18 und 76 Jahren, wobei im Durchschnitt das Lebensalter der Normotoniker 42 Jahre, das der Hypotoniker 44 Jahre betrug. Die Altersverteilung ist aus Abbildung 2 zu entnehmen.

V. Untersuchungsgang

Alle Untersuchungen wurden an sitzenden Patienten in einem bequemen Untersuchungsstuhl mit Rücken- und Armlehne durchgeführt. Zunächst wurde die Blutdruckmanschette in üblicher Weise am linken Oberarm angebracht und zur Abnahme der Korotkoffgeräusche ein kleines Luftschallmikrophon distal von der Manschette direkt über der Art. cubitalis aufgeklebt. Darnach erfolgte die vor jeder Ophthalmodynamographie notwendige Ruhemessung des Oberarmblutdruckes durch automatische Registrierung der Korotkoffgeräusche. Anschließend wurde der Patient über den weiteren Untersuchungsgang am Auge aufgeklärt. Dies ist deshalb von Bedeutung, weil der Blutdruck weder bei Kranken noch Gesunden eine konstante Größe darstellt; denn bei der gleichen Person können unter dem Einfluss von Angst, Aufregung, Schmerz u.a. große Schwankungen des Blutdruckes auftreten.

Nach sorgfältiger und exakter Anlage der Augenpulskapsel wurde dann die synchrone Messung des Blutdruckes der Art. ophthalmica und Art. brachialis in der von HAGER beschriebenen Weise vorgenommen.

Im Anschluss an diesen Messvorgang erfolgte zur Bestimmung des Pulsationsvolumens der Art. ophthalmica die volumetrische Eichung der registrierten arteriellen Pulsationen des Oszillogrammes. Aus dem oben angeführten Grund wird die Eichung jedoch erst nach der Empfindlichkeitsreduzierung im Ophthalmodynamographen auf 1/10 durchgeführt. Da die Eichpulse stets im Bereich des supradiastolischen Druckes ausgelöst werden, musste das gesamte pneumatische System nochmals auf diesen Wert aufgepumpt werden. Dann wurden unter Konstanthaltung des Druckes mindestens 3 bis 4 Eichkurven geschrieben. Hierbei war zu beachten, dass die Eichpulse immer im gleichen Augenblick ausgelöst wurden, nämlich kurz bevor die Restpulsationen ihren tiefsten

Punkt erreicht hatten. Außerdem ist noch darauf hinzuweisen, dass zwischen den einzelnen Eichpulsschreibungen so lange gewartet werden muß, bis sich der Registrierzeiger wieder in die Ausgangslage (isoelektrische Linie) eingestellt hat. War der Eichvorgang beendet, so wurde nach einer Pause von 2 - 3 Minuten das Ophthalmodynamogramm auf dem anderen Auge in der gleichen Weise abgeleitet. Der gesamte Untersuchungsgang beider Augen dauert ca. 15 Minuten.

VI. Darstellung der Ergebnisse

1. Normwerte des Pulsationsvolumens:

Bei der graphischen Darstellung und statistischen Auswertung der Ergebnisse wurden die erhaltenen Werte des Pulsationsvolumens in Beziehung zum Mitteldruck und zur Blutdruckamplitude gesetzt. Von jedem Patienten verwendeten wir für Pulsationsvolumen, Mitteldruck und Blutdruckamplitude immer nur einen Wert. Wir nahmen den Mittelwert, der sich aus den Meßergebnissen der rechten und linken Seite errechnete. Jeweils zwei der drei Kreislaufgrößen wurden in ein Koordinatensystem eingetragen, wobei sich folgende zwei Gegenüberstellungen ergaben:

a) Pulsationsvolumen - Mitteldruck (Abb.3)
b) Pulsationsvolumen - Blutdruckamplitude (Abb.4)

Da das Pulsationsvolumen die veränderliche Größe darstellt, und deshalb die Abhängigkeit vom Mitteldruck und von der Blutdruckamplitude geprüft werden soll, ist das Pulsationsvolumen in beiden Gegenüberstellungen stets auf der y-Achse, der Mitteldruck bzw. die Blutdruckamplitude auf der x-Achse aufgetragen. Jedes Wertepaar ist in das betreffende Koordinatensystem eingetragen, wobei die Normotoniker durch Punkte, die Hypotoniker durch Kreise gekennzeichnet sind.

Die Mitteldruck- und Amplitudenwerte wurden in Gruppen zu je 5 mm Hg zusammengefasst und für jede dieser Gruppen die Mittelwerte der entsprechenden Pulsationsvolumina berechnet. Diese gefundenen Mittelwerte sind als ausgezogene Kurve in die Koordinatensysteme eingezeichnet. Die Streuung wurde in Form der einfachen quadratischen Abweichung (s_u) von den errechneten Mittelwerten als gestrichelte Kurven eingezeichnet. $\bar{x}$ und $\bar{y}$ bedeuten den Mittelpunkt aller x- und y-Werte und sind als Schwerpunkt in die Punktwolke eingezeichnet ($\mathbf{x}$). n stellt die Anzahl aller Wertepaare dar.

Zur Beurteilung der Abhängigkeit zwischen den zu vergleichenden Ergebnissen wurde für beide Gegenüberstellungen der Korrelationskoeffizient r nach PEARSON-BRAVAIS berechnet. Außerdem wurden für Normotoniker und Hypotoniker getrennt die Mittelwerte und die 2-Sigmagrenze bestimmt.

2. Seitendifferenz des Pulsationsvolumens:

Für die statistische Auswertung des Seitenvergleichs wurde von jedem Patienten die Differenz des Pulsationsvolumens aus den Meßergebnissen der rechten und linken Seite ermittelt und die einzelnen Differenzen jeweils in Klassen von 10 mm^3 zusammengefasst. Hierbei ist das Rechtsüberwiegen des Pulsationsvolumens als positive, das Linksüberwiegen als negative Differenz (Δ PV) angegeben. Bei der graphischen Darstellung der Häufigkeitsverteilung (Abb.5) wurden auf der Abszissenachse die errechneten Seitendifferenzen als Klassenmitten abgetragen und über diesen Punkten Säulen errichtet, deren Höhe den zugehörigen Häufigkeitswerten entsprachen. Mit Hilfe des χ^2-Testes konnte nachgewiesen werden, dass die Δ PV-Werte um den Mittelwert Null normal verteilt sind. Es durfte

also für jedes Δ PV an Hand einer Tabelle die entsprechenden Ordinate abgelesen und die GAUSS'sche Normalkurve eingezeichnet werden. Für die Streuung um den Mittelwert wurden die ein- und zwei-Sigmagrenzen berechnet. Unter der x-Achse befindet sich außerdem eine zweite Skala für die Normalverteilung mit dem Mittelpunkt bei Null, auf der die einfache und zweifache Streuung ($1\sigma + 2\sigma$) nach beiden Seiten abgetragen sind. Es lassen sich damit die Grenzwerte der Seitendifferenz für den einfachen und doppelten Schätzwert der Streuung direkt ablesen. n stellt wieder die Anzahl der untersuchten Fälle dar; $\Delta \overline{PV}$ bedeutet das Mittel aller Δ PV-Werte.

Die Bestimmung der absoluten Seitendifferenzen gibt jedoch nur grobe diagnostische Hinweise auf pathologische Veränderungen. So kann z.B. die gleiche Differenz bei insgesamt kleinen Pulsationsvolumina eine erhebliche, bei großen dagegen eine nur geringe Abweichung von den Absolutwerten bedeuten. Um die Ergebnisse beim Seitenvergleich sicherer und exakter bewerten und gleichzeitig methodische und apparative Fehler ausschalten zu können, wurde zusätzlich der Quotient des Pulsationsvolumens (PVQ) bestimmt:

$$PVQ = \frac{\text{PV rechts}}{\text{PV links}}$$

Der Quotient gibt das Verhältnis von Pulsationsvolumen der rechten und linken Seite an und ist daher von der absoluten Größe des Pulsationsvolumens unabhängig. Er stellt einen reinen Zahlenwert dar und gibt außer der Seite auch das Maß der Abweichung vom normalen Pulsationsvolumen an. Bei Seitengleichheit beträgt dieser Wert 1,0. Ist der Quotient größer als 1,0, überwiegt das Pulsationsvolumen der rechten Seite, ist er kleiner als 1,0, überwiegt das der linken Seite. Für jede untersuchte Person wurde der Quotient berechnet und außerdem für

sämtliche 200 Fälle der Mittelwert und die Streuung als doppelte und dreifache quadratische Abweichung bestimmt.

VII. Auswertung der Ergebnisse

In den Tabellen I und II sind die Ergebnisse der statistischen Berechnungen zusammengefasst:
Für die Normotoniker mit einem durchschnittlichen Mitteldruck von 102 mm Hg beträgt das Pulsationsvolumen 107 mm^3 und für die Hypotoniker mit dem Mitteldruck von 88 mm Hg nur 91 mm^3. (Tabelle I). Die Blutdruckamplituden, die den durchschnittlichen Pulsationsvolumina entsprechen, liegen bei 50 mm Hg bzw. bei 42 mm Hg. Werden die untersuchten Personen beider Blutdrucklagen zusammengefasst, so ergibt sich bei einem Mitteldruck von 95 mm Hg und einer Blutdruckamplitude von 46 mm Hg ein durchschnittliches Pulsationsvolumen von 99 mm^3. Aus der vierten Spalte der Tabelle I sind die festgestellten Extremwerte des Pulsationsvolumens (PV max. - PV min.) zu ersehen. Die Streuung des Pulsationsvolumens (PV s_u) ist für beide Untersuchungsreihen annähernd gleich groß. Sie beträgt für die Normotoniker s_u = 21 mm^3 und für die Hypotoniker s_u = 23 mm^3. Um pathologische Fälle mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit abzugrenzen, muß mindestens die doppelte Streuung um den Mittelwert angenommen werden. Bei den Normotonikern liegen dann 92 %, bei den Hypotonikern sogar 97 % aller Fälle innerhalb dieser Streubreite. Die Schwankungsbreite der Normwerte des Pulsationsvolumens beträgt somit bei den Normotonikern 65-149 mm^3, bei den Hypotonikern 45-137 mm^3 und für beide Blutdrucklagen 55-143 mm^3.

Bei der Betrachtung der graphischen Darstellungen und der Korrelationskoeffizienten r_1 und r_2 ist zu erkennen, daß bei dem Vergleich von Pulsationsvolumen und Mitteldruck kein signifikanter Zusammenhang besteht. Der Korrelationskoeffizient r_1 = 0,11 liegt nämlich eindeutig unter dem

Zufallshöchstwert, der nach KOLLER bei 200 Ergebnispaaren 0,21 beträgt. Bei der Gegenüberstellung von Pulsationsvolumen und Blutdruckamplitude erhalten wir einen Korrelationskoeffizienten $r_2 = 0{,}28$. Nach KOLLER ergibt sich - wie bereits erwähnt - für 200 Beobachtungspaare für eine reine Zufallskorrelation der Grenzwert 0,21. Unser Koeffizient r_2 liegt also, wenn auch nur gering, über dem Zufallshöchstwert. Damit darf das Vorhandensein einer geradlinigen Beziehung zwischen Pulsationsvolumen und Blutdruckamplitude als statistisch gesichert angesehen werden. Es wurde deshalb für diese Gegenüberstellung außerdem die Regressionsgerade ($y = 0{,}55\ x + 74$) aufgestellt und in der graphischen Darstellung als Linie durch die Punktwolke gelegt (Abb.4). Die Regressionsgerade entspricht ihrem Verlauf ungefähr der Kurve der PV-Mittelwerte und besagt, dass bei steigender Blutdruckamplitude das Pulsationsvolumen im gleichen Verhältnis zunimmt.

Beim Seitenvergleich, der für die 200 Untersuchungspersonen durchgeführt wurde, zeigt sich, dass die Häufigkeitsverteilung der Seitendifferenzen eine GAUSS'sche Normalkurve mit dem Kurvenscheitel bei Δ PV = 0 darstellt (Abb.5). Damit ist statistisch bewiesen, daß normalerweise zwischen rechter und linker Seite im Pulsationsvolumen keine Differenz besteht. Die Streuung um den Mittelwert beträgt $\sigma = \pm 13\ mm^3$. Differenzen im Pulsationsvolumen, die innerhalb der doppelten Streuung von $2\sigma = \pm 26\ mm^3$ liegen, müssen noch als normal gewertet werden. Werte außerhalb dieses Bereiches dürfen mit großer Wahrscheinlichkeit als pathologische Seitendifferenzen angesehen werden. Die Gründe, den Seitenvergleich nicht nur unter Berücksichtigung der absoluten Werte des Pulsationsvolumens zu bewerten, wurden beschrieben und die Möglichkeiten aufgezeigt, durch ein weiteres Auswertungsverfahren die Unsicherheit bei der Bewertung der absoluten Seitendifferenzen zu umgehen. Dieses Verfahren besteht in der Berechnung des Pulsationsvolumen-Quotienten. Bei völliger Seitengleichheit beträgt sein Wert

nach unseren statistischen Berechnungen 0,99.
Als Maß für die Streuung wurde auch hier die mittlere quadratische Abweichung berechnet und dabei der Wert s_u = 0,11 erhalten (Tabelle II). Die Grenzen der Normalwerte liegen zwischen 0,77 und 1,21. Ein Quotient unter 0,66 und über 1,32 (3 s_u) ist mit größter Wahrscheinlichkeit als pathologisch zu werten.

VIII. Kritische Beurteilung der Ergebnisse und Zusammenfassung

Mittels der Ophthalmodynamographie wurde bei 100 Normotonikern und 100 Hypotonikern außer dem brachialen und cerebralen Blutdruck das Pulsationsvolumen der A.ophthalmica bestimmt. Um die Normwerte und die Beziehungen des Pulsationsvolumens zum Mitteldruck und zur Blutdruckamplitude aufzustellen, haben wir die Ergebnisse in Koordinatensysteme eingetragen. Zur statistischen Beurteilung berechneten wir die Mittel- und Grenzwerte sowie die Korrelationskoeffizienten.

B e z i e h u n g d e s P u l s a t i o n s v o l u m e n s z u m M i t t e l d r u c k u n d z u r B l u t d r u c k a m p l i t u d e:

Vergleichen wir die Ergebnisse von Pulsationsvolumen, Mitteldruck und Blutdruckamplitude, so zeigt sich, daß alle Werte bei den Hypotonikern um 15 - 20 % niedriger liegen als bei den Personen mit normalen Blutdruckverhältnissen. Auf Grund dieser Befunde könnte gefolgert werden, daß zwischen Pulsationsvolumen, Mitteldruck und Blutdruckamplitude eine direkte Beziehung besteht. Für die Beantwortung der Frage, ob tatsächlich zwischen den 3 Kreislaufgrößen ein Zusammenhang vorliegt, sind die errechneten Korrelationskoeffizienten von Bedeutung. Bei Betrachtung der Koeffizienten ergeben sich für die beiden Gegenüberstellungen verschiedene Verhältnisse:

1. Beim Vergleich von Pulsationsvolumen und Mitteldruck konnte an Hand des Koeffizienten r_1 gezeigt werden, dass ein kausaler Zusammenhang zwischen beiden Größen nicht besteht. Schon v.RECKLINGHAUSEN gelangte durch rein theoretische Überlegungen zu dem Ergebnis, dass der wirksame mittlere Druck und die maximalen Oszillationen (oszillometrischer Index) "unterschiedliche voneinander unabhängige Größen sind, die, wenn sie auch häufig übereinstimmen, sich doch unabhängig voneinander verändern". Ebenso ergaben klinische und

experimentelle Untersuchungen auf dem Gebiet der Pulsoszillographie, dass die Größe der maximalen Pulsationen vom arteriellen Mitteldruck unabhängig ist. Der Grund dafür ist, dass im Bereich der maximalen Pulsationen durch den Manschettendruck die Gefäßwand völlig entlastet und entspannt ist und deshalb der ursprüngliche Innendruck der Gefäße unwirksam wird (v.RECKLINGHAUSEN). Da das Pulsationsvolumen bekanntlich ebenso wie der oszillometrische Index aus den höchsten Pulsationen bestimmt wird, gelten die obigen Ausführungen auch für das Pulsationsvolumen.

2. Bei der 2.Gegenüberstellung erwies sich das Pulsationsvolumen als abhängig von der Blutdruckamplitude. Die für diese Gegenüberstellung errechnete Regressionsgerade ($y = 0{,}55\ x + 74$) zeigt, dass bei zunehmender Blutdruckamplitude das Pulsationsvolumen im Durchschnitt anwächst. Die Streuung ist aber ziemlich groß und die Korrelation nicht sehr eng. Dies hat folgende Ursachen:

A. Untersuchungstechnische Gründe:

1. Nicht immer war es bei den einzelnen Untersuchungen möglich, die Augenpulskapsel optimal anzulegen, vor allem nicht bei Personen mit stark vorspringenden Orbitalrändern. Diese ungleichen Bedingungen bei der Ableitung des Oszillogrammes gegenüber "Normalpersonen" wirkten sich besonders auf die Größe der Pulsamplituden aus und damit als Fehler bei der Bestimmung des Pulsationsvolumens.

2. Bei der Auswertung sämtlicher Kurven wurde stets darauf geachtet, daß man nur sicher verwertbare Eichkurven zur Bestimmung des Pulsationsvolumens heranzog (Abb.6 d). Manchmal konnten jedoch nicht mit absoluter Sicherheit verfälschte Eichkurven von normalen unterschieden werden, so dass auch solche bei den statistischen Berechnungen mitenthalten sind. Die Verfälschung

der Eichkurven, die zu einer scheinbaren Vergrößerung oder Verkleinerung der Eichamplituden führten, hatten - wie bereits erwähnt - verschiedene Gründe, die durch die Abbildung 6 an einem extremen Beispiel aufgezeigt sind:

a) Bei sehr empfindlichen und labilen Personen kam eine nicht formgetreue Registrierung der Eichkurve dadurch zustande, dass der Untersuchte während der Eichschreibung gezwinkert oder gekniffen hatte (Abb.6 b).

b) Eine weitere Fehlermöglichkeit bei der Eichung war dadurch gegeben, dass die Eichpulse bereits ausgelöst wurden, bevor der Registrierzeiger nach einer vorausgegangenen Eichschreibung sich wieder in die Ausgangslage (isoelektrische Linie) eingestellt hatte.

c) Besonders schwierig war das richtige Ausmessen der Eichpulse, wenn sog. große Restpulsationen bestanden. Wurde der Eichpuls in diesen Fällen nicht zum richtigen Zeitpunkt ausgelöst, nämlich kurz bevor die Restpulsationen ihren tiefsten Punkt erreicht hatten, war es möglich, dass der Eichpuls durch die Restpulsationen vergrößert wurde (Abb.6 a). Wenn jedoch der Eichpuls zu früh ausgelöst wurde, nämlich auf der höchsten Erhebung oder im Beginn des abfallenden Schenkels der Restpulsationen, so resultierte eine scheinbare Verkleinerung des Eichpulses (Abb.6 c). In beiden Fällen konnte der Fehler dadurch behoben werden, dass durch die höchsten Erhebungen bzw. durch die Fußpunkte der vorausgehenden Restpulsationen eine Hilfslinie gezogen und bis zum Eichpuls verlängert wurde (Abb.6 a u. c). Die Ausmessung des Eichpulses konnte dann von dieser Hilfslinie bis zur höchsten Erhebung des Eichpulses doch noch annäherungsweise richtig erfolgen.

Diese Schwierigkeiten traten naturgemäß besonders dann auf, wenn eine hohe Pulsfrequenz bestand, also die Restpulsationen sehr schnell aufeinander folgten

und somit das Intervall zwischen abfallendem und wieder aufsteigendem Schenkel der Restpulsationen sehr kurz war.

Es traten dadurch Fehler bei der Ausmessung der Eichpulse bis zu 10 % auf, obwohl wir mindestens 3 Eichpulse ausgemessen haben und davon den Mittelwert berechneten. Aus dieser Erkenntnis wurde, um diese Fehler zu verkleinern, bereits während unserer Untersuchungen bei dem neuen Ophthalmodynamographen eine Änderung vorgenommen. Es wurde einerseits das Eichpulsvolumen von 500 mm^3 auf 1000 mm^3 vergrößert und andererseits die Vorrichtung zur elektrischen Empfindlichkeitsumschaltung so verbessert, dass nun die Empfindlichkeit wahlweise auf 1/10 oder 1/20 reduziert werden kann. Bei der Empfindlichkeit 1/20 sind auch große Restpulsationen so weitgehend reduziert oder fast gelöscht, dass sie keine Fehlermöglichkeiten mehr bei der Ausmessung des Eichpulses verursachen. Allerdings scheinen durch die Vergrößerung des Eichpulsvolumens nun andere Schwierigkeiten aufzutreten, die jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht zu besprechen sind.

B. <u>Andere Gründe für die große Streuung des Pulsationsvolumens:</u>

Neben den erwähnten untersuchungstechnischen Fehlern ist die große Streuung des Pulsationsvolumens und die schlechte Korrelation zur Blutdruckamplitude ein Hinweis dafür, dass das Pulsationsvolumen eben nicht nur von der Blutdruckamplitude, sondern auch noch von weiteren Gefäß- und Kreislaufgrößen abhängt. Bei unserer Aufstellung und den statistischen Berechnungen konnte das Pulsationsvolumen nur in Abhängigkeit von der Blutdruckamplitude beurteilt werden. Andere Gefäß- und Kreislauffaktoren haben wir bei unseren Untersuchungen noch nicht berücksichtigt.

Folgende Faktoren, die zum Teil auch die Blutdruckamplitude mitbestimmen, können das Pulsationsvolumen beeinflussen:

a) Schlagvolumen
b) Gefäßwiderstand
c) Tonus der Gefäßmuskulatur
d) Elastizität der Gefäßwand.

Um also engere Korrelationen zwischen Pulsationsvolumen und Blutdruckamplitude zu bekommen, ist es notwendig, die untersuchungstechnischen Fehler soweit wie möglich auszuschalten und die oben erwähnten Kreislauffaktoren möglichst noch auf eine andere Weise zu erfassen. Hierzu steht uns bei der Ophthalmo-Dynamographie die gleichzeitige Messung der Pulswellengeschwindigkeit der Arteria carotis interna zur Verfügung, die vorwiegend Aufschluss über die Elastizität der Gefäßwände gibt, aber auch durch den Tonus der Gefäße und durch das Schlagvolumen beeinflußt wird.

S e i t e n v e r g l e i c h d e s P u l s a t i o n s v o l u m e n s:

Durch die Bestimmung der Seitendifferenz und des Quotienten des Pulsationsvolumens wird der Einfluss der Blutdruckamplitude und der erwähnten anderen Kreislauffaktoren für die Beurteilung des Pulsationsvolumens ohne Bedeutung, da sich diese auf der rechten und linken Seite in gleicher Weise auswirken. Dadurch lassen sich mit dem Seitenvergleich Stenosen und Verschlüsse im Bereich der Arteria carotis interna zuverlässiger diagnostizieren.

Für jeden unseres normotonen und hypotonen Personenkreises haben wir jeweils die Seitendifferenz und den Quotienten des Pulsationsvolumens bestimmt. Die Häufigkeitsverteilung der Seitendifferenzen entsprach einer GAUSS'schen Normalverteilung mit dem Mittelpunkt

bei Null; damit besteht zwischen rechts und links normalerweise keine Differenz im Pulsationsvolumen. Der Quotient (PVQ), der das Verhältnis des Pulsationsvolumens der rechten und linken Seite angibt, beträgt beim Normalen 0,77 - 1,21. Wie aus der Tabelle II zu entnehmen ist, ist die Schwankungsbreite des Quotienten wesentlich geringer als die der Seitendifferenz. Dadurch liegen die Normwerte des Quotienten innerhalb engerer Grenzen und gestatten somit einfacher eine Trennung des Normalen vom Pathologischen, als das bisher beim Seitenvergleich möglich war.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass wir trotz der noch großen Streuung und nicht sehr engen Korrelation im Pulsationsvolumen ein weiteres Kriterium zur Beurteilung dynamographischer Befunde haben. So können vor allem bei Stenosen und Verschlüssen im Bereich der Arteria carotis interna besonders die Angaben der Seitendifferenz und des Quotienten des Pulsationsvolumens die Diagnose wesentlich erleichtern. Es ist jedoch abschließend darauf hinzuweisen, dass das Pulsationsvolumen nie allein, sondern immer nur unter Berücksichtigung der gesamten Kreislaufsituation zu bewerten ist.

Tabelle I: Normwerte des Pulsationsvolumens und die Relationen zum Mitteldruck und zur Blutdruckamplitude.

	$\overline{PV}$ mm^3	$\overline{PM}$ mmHg	$\overline{Ap}$ mmHg	PVmax. - PVmin.	PV s_u	PV-Normwerte	Korrelations-koeffizient: r	Regressionsgerade y = ax + b
Normotoniker	107	102	50	160 - 60	± 21	65 - 149	———	———
Hypotoniker	91	88	42	150 - 55	± 23	45 - 137	———	———
Zusammen	99	95	46	160 - 55	± 22	55 - 143	PV-PM PV-Ap r_1=0,11 r_2=0,28	y = 0,55x + 71

Tabelle II: Mittel- und Grenzwerte der Seitendifferenz und des Quotienten des Pulsationsvolumens.

$\overline{PV}$	σ	2σ	$\overline{PVQ}$	PVQ s_u	95% - Grenzen ($2s_u$)	99,7% - Grenzen ($3s_u$)
0	± 13	± 26	0,99	0,11	0,77 - 1,21	0,66 - 1,32

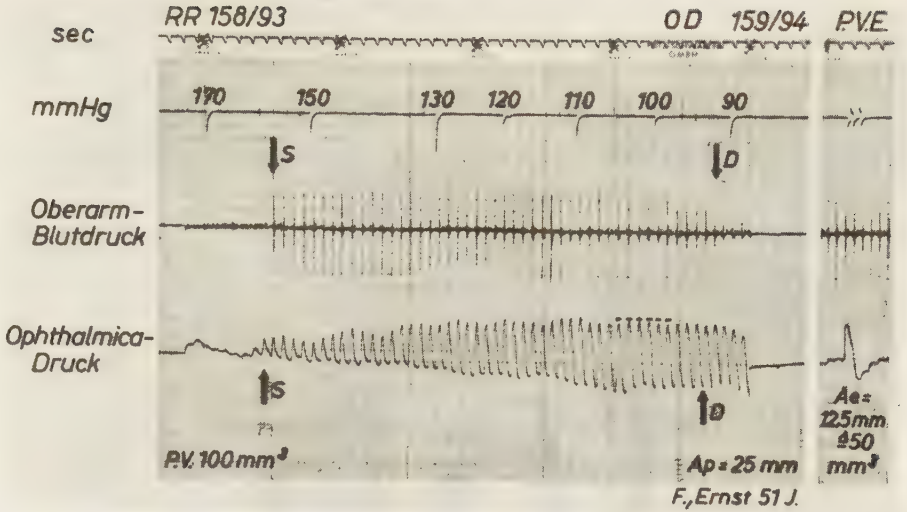

Abb. 1: Bulbus-Orbita-Oscillogramm mit den Kriterien für den systolischen (S) und diastolischen (D) Brachialis- und Ophthalmicadruck (RR bzw. OD). Pulsationsvolumen (PV) bestimmt durch Vergleichsvolumen (Ae) und linearem Vergleich mit Pulsamplitude (Ap).

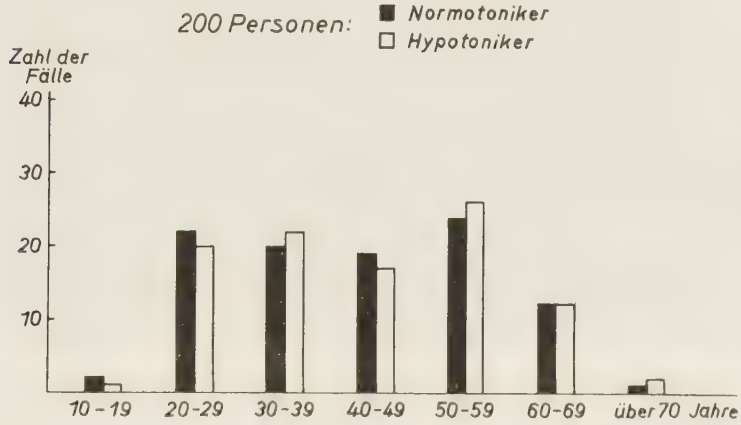

Abb. 2: Altersverteilung des untersuchten Personenkreises.

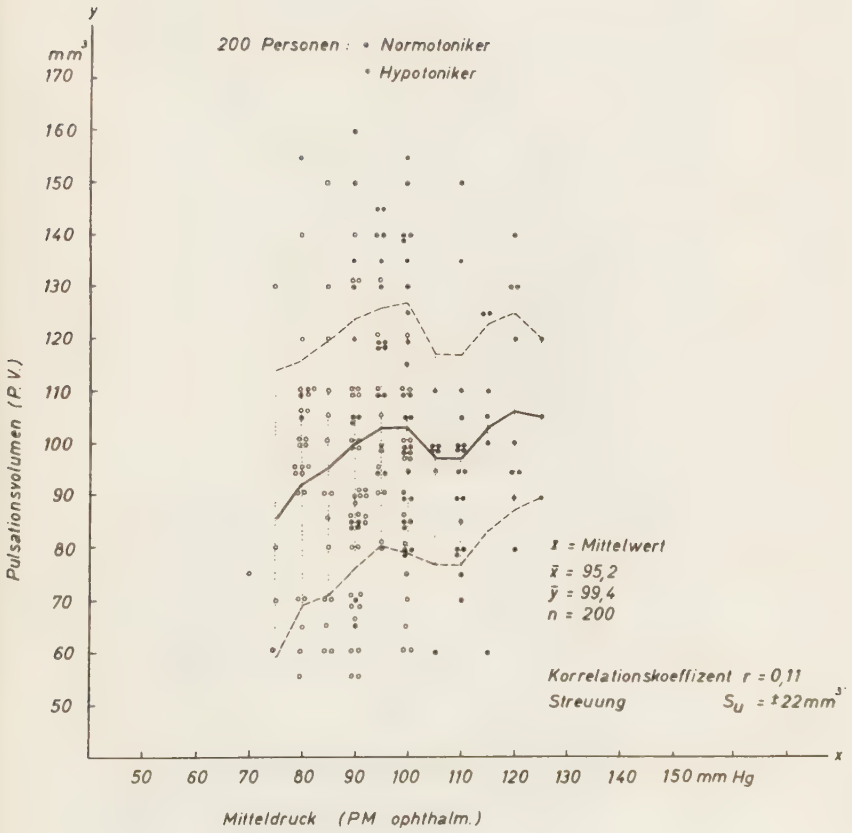

Abb. 3: Beziehung zwischen Pulsationsvolumen und Mitteldruck.

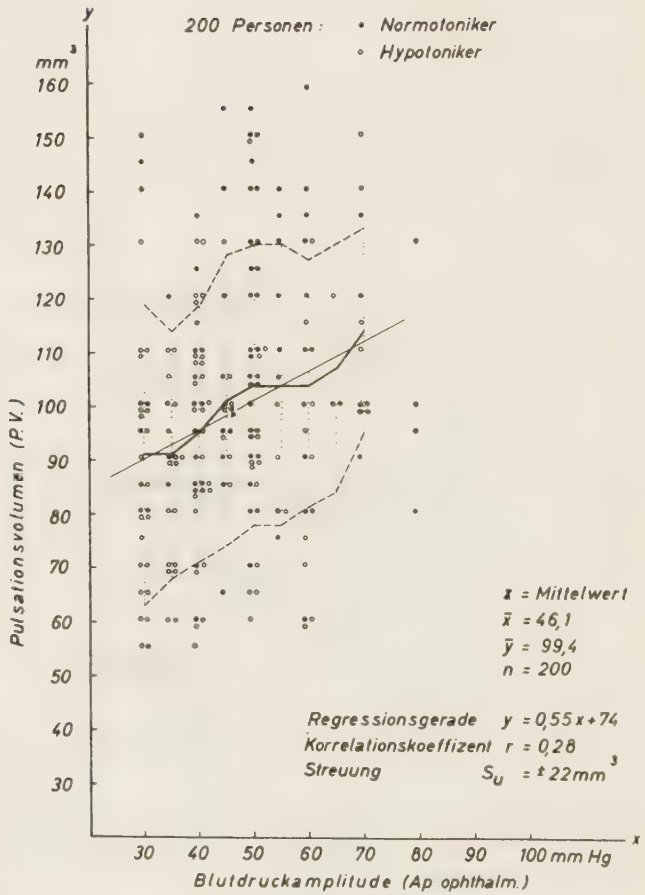

Abb. 4: Beziehung zwischen Pulsationsvolumen und Blutdruckamplitude.

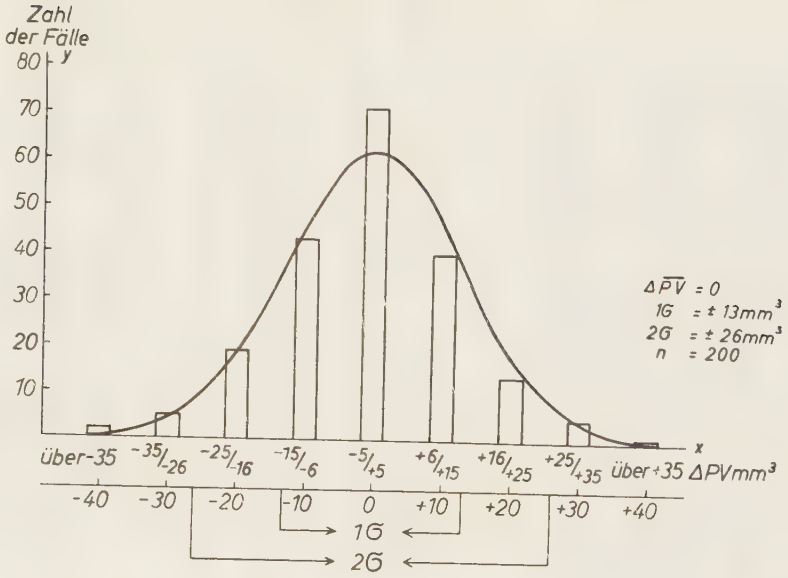

Abb. 5: Seitendifferenz des Pulsationsvolumens.

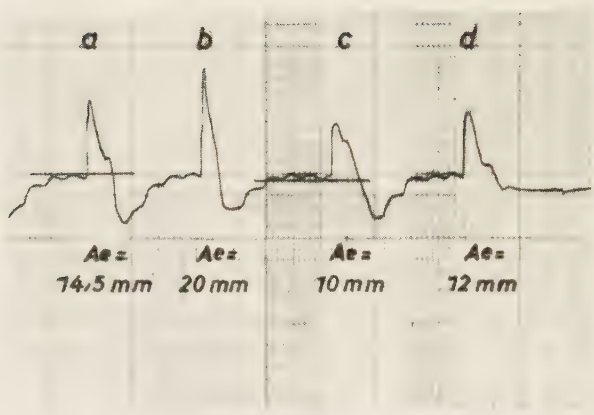

Abb. 6: Fehlermöglichkeiten der Eichpulsschreibung (vgl.Text).

a: Eichpuls durch Restpulsation überlagert, daher scheinbar vergrößert (Ae=14,5 mm). Durch Hilfslinie annähernd richtige Bestimmung des Eichpulses ($\overline{Ae}$=13 mm).

b: Eichpuls durch Zwinkereffekt stark vergrößert (Ae=2o mm).

c: Eichpuls im aufsteigenden Schenkel der Restpulsation ausgelöst, daher scheinbar verkleinert (Ae=1o mm). Durch Hilfslinie annähernd richtige Bestimmung des Eichpulses ($\overline{Ae}$=11,5 mm).

d: Fehlerfreier Eichpuls (Ae=12 mm).

Literaturverzeichnis

BRECHT,K. und BARBEY,K.: Die Gefäßoszillographie und ihre Bedeutung für die Erkennung von Durchblutungsstörungen.
3. Freiburger Colloquium über Kreislaufmessungen, 1961

HAGER,H.: Objektive elektrische Dynamometrie mit Hilfe des Bulbus-Orbita-Pulses.
XVII. Concilium Ophthalmologicum 1958, Belgica

Ders.: Die Bestimmung des Pulsationsvolumens der Arteria ophthalmica.
Österr. OG. Wien 7.Vers., 239-242 (1962)

Ders.: Die Diagnose der Karotisthrombose durch den Augenarzt.
Klin.Mbl.Augenhk. 141, 801-840 (1962)

Ders.: Untersuchung des Gehirnkreislaufs durch die Ophthalmodynamographie.
Med.Naturwissenschaftl.Verein Tübingen (19.11.1962)
Med.Welt 18, 995-1004 (1963)

Ders.: Die Ophthalmo-Dynamographie als Methode zur Beurteilung des Gehirnkreislaufs.
Klin.Mbl.Augenhk. 142, 827-846 (1963)

HILDEBRANDT,G. und A.: Oszillographische Praxis.
Bosch und Speidel, Fabrik medizinischer Apparate.
Jungingen (Hohenzollern) 1958

HORCH,G.: Inaugural-Dissertation (im Druck)

KLEIN,K.: Untersuchungen über das Verhalten der Pulswellengeschwindigkeit in der Arteria carotis interna.
Zschr. Kreisl.Forsch.51, 477-484 (1962)

KOLLER,S.: Graphische Tafeln zur Beurteilung statistischer Zahlen.
Verlag Dr.D.Steinkopf, Darmstadt 1953

LINK,U.: Beziehungen des dynamometrisch und dynamographisch gemessenen Ophthalmicadruckes zum auskultierten Oberarmblutdruck.
Inaugural-Dissertation Tübingen 1963

v. RECKLINGHAUSEN,H.: Blutdruckmessung und Kreislauf.
Steinkopf-Verlag, Dresden und Leipzig 1940

SCHOCK,D.: Inaugural-Dissertation (im Druck)

WEBER,E.: Grundriß der Biologischen Statistik.
VEB Gustav Fischer Verlag - Jena 1957

WEZLER,K. u. BOEGER,A.: Die Dynamik des arteriellen Systems.
Ergebn. physiol. 41, 292-606 (1939)

Lebenslauf

Am 9. März 1938 wurde ich, Hans-Dieter Seitz, in Stuttgart als Sohn des Dr.med. Emil Seitz, Chefarzt am Kreiskrankenhaus Neuenbürg, und seiner Ehefrau Lieselotte, geb. Bauer, geboren.

Von 1944 bis 1948 besuchte ich die Volksschule und anschließend das Gymnasium in Neuenbürg, wo ich im Frühjahr 1957 die Reifeprüfung bestand.

Im Sommer 1957 begann ich das Studium der Medizin in Freiburg. Nach einer einjährigen Unterbrechung wegen Krankheit setzte ich mein Studium im Wintersemester 1958/59 an der Universität Tübingen fort und legte dort nach 5 vorklinischen Semestern im Oktober 1960 die ärztliche Vorprüfung ab. Anschließend studierte ich je ein Semester in Würzburg und München sowie zwei Semester in Wien. Seit dem Wintersemester 1962/63 war ich wieder in Tübingen immatrikuliert, wo ich am 12.Dezember 1963 das medizinische Staatsexamen bestand.

Im Februar 1964 trat ich als Medizinalassistent in die Universitäts-Augenklinik Tübingen ein. Seit August 1964 bin ich an der chirurgisch-geburtshilflichen Abteilung des Kreiskrankenhauses Neuenbürg tätig.